

УДК 621.316

Б.Т. Кононов, К.С. Деркач

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

*Описывается предложенный показатель относительной эффективности действия релейной защиты системы электроснабжения, учитывающий требования, предъявляемые к защитам по надежности работы и селективности действий.*

**Ключевые слова:** анализ надежности, релейная защита, показатель эффективности, резерв, структура.

### Введение

**Постановка проблемы:** Система электроснабжения объекта кроме основного оборудования, предназначенного для выработки, преобразования, передачи и распределения электрической энергии, имеет в своем составе устройства релейной защиты позволяющие защитить основное оборудование в аварийных режимах. Одной из основных характеристик системы электроснабжения является ее надежность, определяемая как надежностью основного оборудования, так и надежностью устройств релейной защиты.

При анализе надежности системы электроснабжения принято [1] оценивать ее способность выполнить заданные функции, как и при отсутствии, так и при наличии отказов ее элементов. В процессе сопоставления различных вариантов построения релейной защиты требуется оценить эффективность ее действий, предложив при этом показатели с помощью которых возможно сопоставить различные варианты релейной защиты системы электроснабжения.

**Анализ литературы.** В [1] приведены основы теории оценки надежности работы энергосистемы. Рассмотрены практические приложения теории надежности связанные с решением проблем эксплуатации и планирования режимов работы, связанным с определением резерва электростанций, и расчетом надежности электроснабжения потребителей в конкретной распределительной сети.

Большое внимание уделено задачам, решаемым путем моделирования надежности работы систем электроснабжения, в частности задачам, связанным с принятием решений при проектировании систем электроснабжения.

Вместе с тем, в [1] не рассматриваются вопросы, связанные с выбором структуры релейной защиты и определением показателей, позволяющих выполнить оценку различных вариантов релейной защиты энергосистемы.

**Целью статьи** является разработка показателя, позволяющего оценить эффективность релейной защиты системы электроснабжения.

### Основной материал

Система электроснабжения обеспечивает выработку электрической энергии требуемого количества и необходимого качества. К системе электроснабжения объекта предъявляются весьма высокие требования, заключающиеся в необходимости выполнения возложенных на нее функций в заданных условиях эксплуатации в течение требуемого времени работы, сохраняя при этом свои технические характеристики.

Система электроснабжения должна выполнять заданные функции, как при отсутствии, так и при наличии отказов ее элементов.

Для оценки свойств системы электроснабжения объект используемый понятие надежности. При этом будем использовать следующие гипотезы.

Прежде всего примем, что система находится в одном из  $V_j$  состояний, где:

$H_0$  – состояние системы при безотказной работе всех ее элементов,

$V_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) – состояние системы при возникновении различных отказов.

Далее введем понятие уровня выполнения системой своих функций, а именно:

уровень  $A_0$  – нормальный режим работы,

уровень  $A_1$  – аварийный режим, в котором система электроснабжения обеспечивает электрической энергией только особо ответственных потребителей, как правило, это потребители первой категории.

При этом введем понятие таких характеристик надежности как

$$P(A_0, t) \text{ и } P(A_1, t),$$

т.е. вероятностей выполнения заданных функций на уровне  $A_0$  и  $A_1$ .

Надежность системы электроснабжения будем определять по формуле полной вероятности

$$P(A_i, t) = \sum_{i=0}^n P(B_j, t) P\left(\frac{A_i}{B_j}\right), \quad (1)$$

$$i = 0, 1; \quad j = 0, \dots, n,$$

где  $P(B_j, t)$  – вероятность возникновения  $B_j$  состояний в системе электроснабжения;

$P\left(\frac{A_i}{B_j}\right)$  – условная вероятность, характеризующая

выполнение функций на заданном уровне  $A_i$  при  $B_j$  состоянии системы

Значение условной вероятности определяются структурой системы электроснабжения и свойствами аппаратуры релейной защиты.

Действительно вероятность отсутствия отказов в системе электроснабжения  $P(B_0)$  определяется следующим образом

$$P(B_0) = P_c P_{\text{защ}}, \quad (2)$$

где  $P_c$  – вероятность отсутствия отказов элементов системы электроснабжения без устройств релейной защиты;

$P_{\text{защ}}$  – вероятность безотказной работы устройств релейной защиты :

Если исходить из того факта, что общее число состояний системы  $B_j (j = n)$  определяется:

$n_1$  состояниями системы, вызываемыми ее отказами, при которых релейная защита не действует,

$n_2 - n_1$  – число состояний системы, при которых при отказах действует релейная защита,

$n - n_2$  число состояний системы вызываемых отказами релейной защитой в случае безотказной работы остального оборудования, то из (1) с учетом (2) и сделанных утверждений следует, что

$$P(A) = P_c P_{\text{защ}} + \sum_{j=1}^n P(B_j) P\left(\frac{A}{B_j}\right) + P(B_j) P\left(\frac{A}{B_j}\right) + P_c \sum_{j=n_2+1}^n P(B_j) P\left(\frac{A}{B_j}\right), \quad (3)$$

где  $\sum_{j=1}^n P(B_j) P\left(\frac{A}{B_j}\right)$  – составляющая, не зависящая от действий и состояния релейной защиты;

от действий и состояния релейной защиты;

$P_{\text{защ}} \sum_{j=n_2+1}^n P(B_j) P\left(\frac{A}{B_j}\right)$  – составляющая, определяемая состоянием и действиями релейной защиты при отказах элементов системы электроснабжения;

где  $P_c \sum_{j=n_2+1}^n P(B_j) P\left(\frac{A}{B_j}\right)$  – составляющая, определяемая состоянием и действиями релейной защиты при отказах элементов системы электроснабжения;

$P_c \sum_{j=n_2+1}^n P(B_j) P\left(\frac{A}{B_j}\right)$  – составляющая, определяемая состоянием и действиями релейной защиты при отказах элементов системы электроснабжения;

ляющая влияние отказов элементов релейной защиты при исправном состоянии остальных элементов системы электроснабжения.

Идеальной релейной защитой будет такая защита, у которой отказы ее элементов не будут вызывать отказов собственно системы электроснабжения.

У идеальной системы релейной защиты

$$P_{\text{защ}} + \sum_{j=n_2+1}^n P(B_j) P\left(\frac{A}{B_j}\right) = 1. \quad (4)$$

Эффективность работы релейной защиты можно оценивать с помощью относительного показателя эффективности

$$\gamma_{\text{защ}} = \sum_{j=n_2+1}^n P(B_j) P\left(\frac{A}{B_j}\right) / \sum_{j=n_2+1}^n P(B_j). \quad (5)$$

Если исходить из необходимости при функционировании защиты обеспечить ее селективность, понимая при этом придание релейной защите ее свойств, связанных с выполнением функций резервирования при несрабатывании защиты в своей зоне, то эффективность действий защиты будут определяться вероятностью возникновения аварийной ситуации в  $k$ -й зоне  $P(B_k)$ ,  $k = 1, \dots, m$  и условной вероятностью правильной работы защиты при аварийной ситуации в  $k$ -й зоне  $P\left(\frac{A_i}{B_k}\right)$ .

В действиях релейной защиты возможны следующие типы отказов :

– отказы вызванные несрабатыванием релейной защиты в аварийном режиме в своей зоне (пропуск аварийного режима в своей зоне с вероятностью  $q_{\text{пр}}$ );

– отказы, вызываемые срабатыванием релейной защиты своей зоны при возникновении аварийного режима в чужой зоне (ложное срабатывание с вероятностью  $q_{\text{л.ср}}$ ).

Для оценки эффективности каждого вида защиты при учете возможных пропусков и ложных срабатываний соотношение (5) преобразуется к виду

$$\gamma_{\text{защ}} = \frac{\sum_{k=1}^m P(B_k) (1 - q_{\text{пр } k}) \prod_{i=1, k \neq i}^m (1 - q_{\text{лс } k i})}{\sum_{k=1}^m P(B_k)}. \quad (6)$$

В соотношении (6) произведение  $(1 - q_{\text{пр } k})$

$\prod_{i=1, k \neq i}^m (1 - q_{\text{лс } k i})$  представляет собой условную вероятность сложного события, состоящего в том, что

при возникновении  $k$ -го аварийного режима про-

изойдет срабатывания релейной защиты  $i$ -й зоны и несрабатывание защит всех остальных зон.

Если в системе электроснабжения предусмотрена только одна зона защиты, то понятие селективности лишено смысла и условная вероятность срабатывания защиты при заданном значении тока  $I_1$  можно характеризовать величиной

$$P\left(\frac{A}{I=I_1}\right) = \text{вер}\left(t_{\text{ср пз1}} \leq t_{\text{мак}} / I=I_2\right) = \int_0^{t_{\text{мак}}} f_{\text{заш}}\left(\frac{t_{\text{ср}}}{I} = I_2\right) dt. \quad (7)$$

При двух зонах релейной защиты с токам  $I_1$  в первой зоне и током  $I_2$  во второй зоне соответствующие вероятности определяются по следующим формулам

$$P\left(\frac{A}{I=I_1}\right) = \text{вер}\left(t_{\text{ср пз1}} \leq t_{\text{мак}} / I=I_2\right);$$

$$P\left(\frac{A}{I=I_2}\right) = \text{вер}\left(t_{\text{ср пз11}} \leq t_{\text{ср пз1}} \leq t_{\text{макс}} / I=I_2\right) = \int_{I_1}^{I_2} f(i) \int_0^{t_{\text{макс}}} f_{\text{пз11}}(t_{\text{ср}} / I) \int_{t_{\text{ср}}}^{\infty} f_{\text{пз1}}(\tau_{\text{ср}} / I) dt_{\text{ср}} d\tau_{\text{ср}} d_i. \quad (8)$$

Вероятность возникновения аварийных режимов в электрической сети определяется с учетом длин линий электропередач. Анализ полученных соотношений дает основание утверждать, что использование понятия надежность релейной защиты позволяет оценить безотказность работы системы электроснабжения при возникновении аварийной ситуации.

## Выводы

1. Показатель эффективности действия релейной защиты позволяет оценить вероятность возникновения аварийных ситуаций в системе электроснабжения и сопоставить различные варианты выполнения решенной задачи.

2. При выборе устройств релейной защиты необходимо учитывать как увеличение надежности системы электроснабжения объекта при использовании устройств релейной защиты, так и снижение надежности за счет возможных отказов устройств релейной защиты.

## Список литературы

1. Эндрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах: пер. с англ. / Дж. Эндрени; под ред. Ю.Н. Руденко. – М.: Энергоатом издат, 1993. – 336 с.

Поступила в редколлегию 5.10.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Н. Чинков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ПОКАЗНИК ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТА

Б.Т. Кононов, К.С. Деркач

*Описується запропонований показник відносної ефективності дії релейного захисту системи електропостачання, що враховує вимоги, пропонованих до захистів по надійності роботи й селективності дії.*

**Ключові слова:** аналіз надійність, релейний захист, показник ефективності, резерв, структура.

## INDEX OF EFFICIENCY RELAY DEFENCE SYSTEM POWER SUPPLY OF OBJECT

В.Т. Kononov, К.С. Derkach

*The offered index of relative efficiency of action of relay defence of the system of power supply, taking into account the requirements, is described, produced to defences on reliability of work and selectivity of actions.*

**Keywords:** security analysis, relay defence, index of efficiency, reserve, structure.